

## 전기자동차의 유럽 측면 충돌 특성 기초 연구(II)

### A Basic Study of the European Side Impact Characteristics of Electric Vehicle(II)

조용범\*, 신효철\*\*  
Y. B. Cho, H.-C. Sin

#### ABSTRACT

European side impact analysis of an electric vehicle was done using the robust design method. In order to minimize VC as well as rib deflection, the injury response table which consists of rib deflection and VC response table has been introduced. The sensitivities and interactions are almost the same when it was compared with those of rib deflection and VC response table. Using internal energy of the factors, the starting time of dummy rib deflection and the contact average velocity, the internal energy and time-velocity response table were introduced. It is shown that the results of the new response tables have the similar characteristics to those of the injury response table. It is suggested that the internal energy and time-velocity response table should be utilized to minimize injuries.

주요기술용어 : Design of experiments(실험계획법), Injury response table(상해치 반응표), Internal energy response table(내부에너지 반응표), Time-velocity response table(시간-속도 반응표), Interaction(상호작용), Electric vehicle(전기자동차)

#### 1. 서론

실험계획법을 이용한 전기자동차의 유럽 측면 충돌 특성 선행 연구를 통해 유럽 법규 상해치 중 Rib 변형과 VC 값을 충족시킬 수 있는 설계가 매우 중요함이 입증되었다.<sup>1)</sup> 이 선행 연구에서는 Rib 변형과 VC, 각각에 대한 목표값을 정하여 측면 충돌 성능에 영향을 미치는 8가지 인자를 선정하여 해석하였으며, 충돌 특성을 분석한 결과 선정된 부재의 강성만큼 위치도 충돌 특성에 영향이 크다는 것을 알았다. 각 목표값에 대하여

영향이 큰 인자와 그렇지 않은 인자가 있으며, 같은 인자의 경우에도 각각의 목표값에 대한 영향도가 서로 일치하지 않는 경우도 있다. 일치할 경우에도 인자의 수준별 상해정도가 서로 다른 경우도 있다. 예를 들면 B-필라(pillar) 강성과 위치 인자의 경우 Rib 변형과 VC에 모두 영향을 주지만 B-필라 강성 인자의 경우 강성을 어느 정도 이상 증가시키면 Rib 변형은 감소하나 VC는 나빠지는 경향을 보인다.

이상과 같은 결과에서 Rib 변형과 VC를 동시에 효과적으로 개선할 수 있도록 본 연구에서는 하나의 목표값으로 분석한 결과를 각각의 목표값으로 구한 결과와 비교하여 본다. 인자에 따라

\* 회원, 서울대학교 기계항공공학부 대학원

\*\* 회원, 서울대학교 기계항공공학부

상해치가 변하는 것은 인자들의 변형에 의해 차체가 충돌에너지를 흡수하는 정도가 달라서 더미에 충격을 주는 에너지를 전달량이 일정하지 않기 때문이다. 선정 인자들의 내부에너지와 상해치 간의 상관 관계를 검토한다. 그리고 Rib 변형이 시작되는 시간( $T_{nb}$ )과 Rib 변형이 일어나는 순간부터의 10ms 동안의 평균속도( $V_{ave}$ )를 목표값과 비교하여 상관관계를 분석한다.

## 2. 해석 내용

### 2.1 유럽 측면 충돌 법규와 목표값

본 연구에서 해석을 실시한 유럽 측면 충돌의 기본적인 법규 내용을 정리하면 다음 Table 1과 같다.<sup>2-4)</sup>

유럽 NCAP 실험에 대한 공식적 발표 결과를 살펴보면 일반적으로 유럽 측면 충돌에서 대부분의 차량은 머리 상해치와 Pubic Symphysis Force는 규제치 이하이다. 따라서 항상 문제가 되는 Rib 변형과 VC를 목표값으로 정한다.

### 2.2 인자, 수준 선정 및 배열표 설정

본 연구에서는 실험계획법의 일부실시법을 이용하여 충돌 중 barrier와 직접 접촉하면서 변형되는 부재중에서 충돌특성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 8가지 변수를 선정하였다. 이 변수들을 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2의 8개 인자에 대한 수준(Level)을 정할 때 주어진 최소의 해석으로 만족한 결과를 얻을 수 있도록 일부실시법을 이용하였다. 인자들 간

Table 1 Dummy performance criteria

Item	Criteria
Head	HIC < 1000
Chest	Chest deflection < 42 mm
	VC < 1.0 m/sec
Pelvis	Pubic Symphysis Force < 6.0 kN

Table 2 Control factors

	Factor
Location factor	A - Door overlap percentage
	B - B-pillar x-direction location
	C - Floor cross member x-direction location
	D - Door impact beam z-direction location
Stiffness factor	E - B-Pillar section property
	F - Floor cross member section property
	G - Sill side section property
	H - Door impact beam section property

의 상호작용이 실제로는 존재할 수 있지만 본 연구에서는 상호작용이 없는 것을 가정하였다. 상호작용이 없다고 가정하여 인자 중 하나는 수준 2로 나머지 인자는 수준 3으로 정하여 직교배열표  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 을 이용한다.<sup>5-7)</sup>

각 인자들의 수준 내용을 요약하면 Table 3과 같다. B-필라 위치는 더미의 Hip-point를 기준으로 B-필라 하단의 x-방향 위치, 도어 겹침(Door overlap)량은 도어가 결합하는 도어 벨트라인(Door beltline)이하의 차체(Body in white) 개구부의 면적에 대하여 도어가 A-필라, B-필라와 겹치는 면적 비율, 플로어 횡 부재(Floor cross member) 위치는 더미의 Hip-point 기준으로 x-방향 위치를, 도어 보강 부재(Door impact beam) 위치는 더미 Hip-point 기준으로 z-방향 위치를 나타낸다. 나머지 4개 강성인자는 수준 1의 단면 계수를 1로 볼 때 수준 2와 3은 각각 1.5배, 2배의 크기이다. E, F, H인자는 해석모델의 최초 설계 두께가 수준 1의 값이며, G인자는 단면의 크기가 커서 수준 3의 두께가 최초 설계 두께이다. Table 3의 값은 위치인자의 위에서 설명한 기준에 대한 위치와 강성인자의 두께를 나타낸 것이다.

### 2.4 해석 모델

본 연구에 이용한 전기자동차의 해석 모델은 Fig. 1과 같고, Fig. 2는 강성인자 E, F, G, H의 위치를 표시한 것이다. Fig. 2에서 E인자(B-필라)는

Table 3 Level of factors

Factor	Level		
	1	2	3
A	5%	15%	
B	(+)150mm	Hip-point	(-)150mm
C	(-)150mm	Hip-Point	(+)150mm
D	Hip-point	(+)100mm	(-)100 mm
E	2mm	3.1mm	4.5mm
F	2mm	3.1mm	4.5mm
G	1mm	1.5mm	2mm
H	2mm	3.5mm	5mm

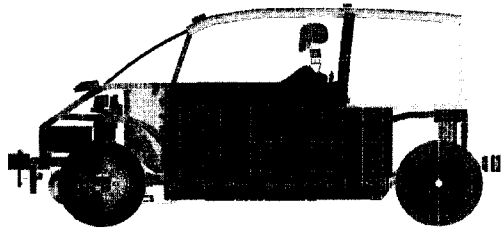


Fig. 1 Side view of side impact model

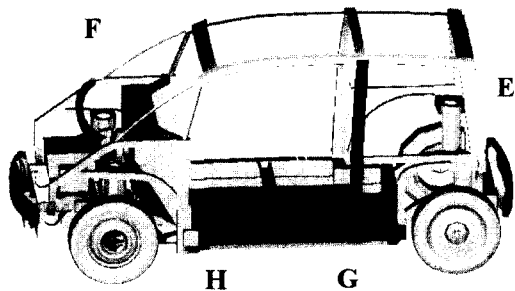


Fig. 2 View of stiffness factors on model

Hip-point에서 150mm 뒤쪽의 위치(수준 1)이고, F인자(플로어 횡 부재)는 Hip-point에서 150mm 앞쪽의 위치(수준 1)이며, H인자(도어 보강 부재)는 높이가 Hip-point 위치(수준 1)이다.

### 3. 해석결과 및 분석

#### 3.1 해석결과

2절에서 정한 직교배열표로 해석한 결과를 목 표값 별로 정리하면 Table 4와 같다. 각 경우의 해

Table 4 Analysis results

Experiment No.	Injury criteria		
	Rib deflection	VC	m
case1	95.38	122.42	108.90
case2	97.10	114.67	105.89
case3	105.27	105.00	105.14
case4	128.53	130.25	129.39
case5	88.71	106.53	97.62
case6	145.65	116.29	130.97
case7	109.02	77.67	93.35
case8	87.88	65.73	76.81
case9	63.42	78.66	71.04
case10	84.65	125.49	105.07
case11	69.18	90.61	79.90
case12	62.14	40.04	51.09
case13	100.79	90.87	95.83
case14	145.56	168.18	156.87
case15	133.07	109.82	121.45
case16	76.84	57.32	67.08
case17	94.89	102.20	98.55
case18	111.91	92.26	102.09

석 결과는 18번의 해석에서 얻은 Rib 변형과 VC의 평균값을 구하여, 그 평균값으로 직교배열표 각 경우의 값을 나눈 것을 퍼센트로 표시한 것이다.

Table 5는 Table 4의 Rib 변형과 VC의 결과를 더하여 얻은 평균값(m)으로 구한 인자별 충돌 특성 반응표이다. 이것을 상해치 반응표(Injury Re-

Table 5 Injury response table

Factor	Average m by level			Level max-min
	1	2	3	
A	102.12	97.88		4.66
B	93.16	122.02	84.82	37.2
C	99.93	102.61	97.46	5.15
D	101.54	91.48	106.98	15.51
E	112.0	92.45	95.55	19.46
F	94.19	111.73	94.09	17.64
G	92.61	109.20	98.19	16.59
H	101.99	91.78	106.23	14.45

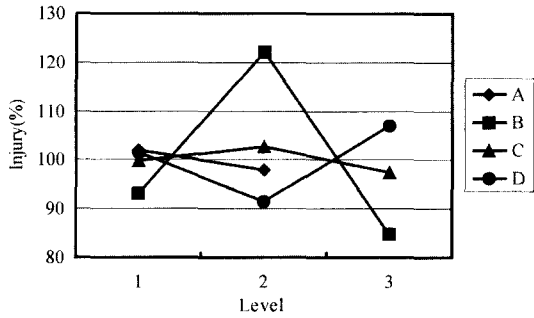


Fig. 3 Injury response for location factors

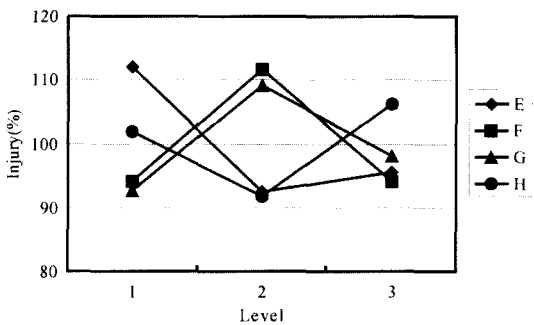


Fig. 4 Injury response for stiffness factors

sponse Table)라 한다. 반응표에서 B-필라 위치의 변화에 따라 상해치 변화가 제일 큰 것을 알 수 있다.

8인자에 대한 반응표를 각각 위치와 강성인자로 분류하여 그림으로 나타내면 Fig. 3, Fig. 4와 같다.

### 3.2 분산 분석

해석 결과에서 각 목표 값에 대한 인자별 반응표를 구하였고, 인자별 민감도를 분석하기 위해 분산 분석(ANOVA, Analysis of Variance)을 실시한다.

목표값에 대하여 계산 절차<sup>7)</sup>에 따라 분산 분석을 실시한 결과는 Table 6과 같으며, 평균제곱(mean square)을 평균제곱오차(Mean square error)로 나눈 F ratio 값이 클수록 인자의 목표값에 대한 영향도가 큰 것을 나타낸다.

B-필라 위치(B인자), B-필라 강성(E인자), 플로어 횡 부재 강성(F인자), Sill side 강성(G인자)

Table 6 Analysis of injury

Factor	Degree of freedom	Sum of squares	Mean square	F ratio
A	1	81*	81*	
B	2	4573	2287	10.21
C	2	80*	40*	
D	2	743*	372*	
E	2	1325	663	2.96
F	2	1237	619	2.76
G	2	855	428	1.91
H	2	662*	331*	
Error	0	0	-	
Total	17	9556	562	
(Error)	(7)	(1566)	(224)	

\*Indicates the sum of squares added together to form the pooled error sum of squares shown in parentheses

순으로 민감하며, 이와 같은 결과는 Rib 변형과 VC를 별도의 목표값으로 하여 계산 한 결과와 동일하고, 최적조합도 B3, E2, F3(또는 F1), G1으로 같은 결과를 보여준다.<sup>1)</sup> 이것으로부터 상해치 반응표를 이용하여 Rib 변형과 VC를 같이 개선할 수 있는 설계조합을 얻을 수 있다.

### 3.3 인자별 상호 작용

인자간의 상호 작용이 없는 것을 가정하여 직교 배열표를 작성하여서 해석을 수행하였다. Rib 변형과 VC의 각각의 목표값으로 구한 상호작용과 상해치 반응표로 구한 목표 값에 민감도가 큰 인자들간의 상호 작용에 대하여 비교 검토한다.

Table 6의 결과로부터 상해치에 민감한 B, E, F, G인자의 상호 작용을 계산한 결과는 Table 7과 같다.

Table 7의 결과에서 B×E인자(B-필라 위치와 강성), E×F인자(B-필라 강성과 플로어 횡 부재의 강성), E×G인자(B-필라 강성과 Sill side의 강성)의 상호 작용이 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 Rib 변형과 VC를 별도의 목표값으로 계산한 결과와 같은 결과를 보여준다.<sup>1)</sup>

인자별 상호 작용 결과를 그래프로 나타내면

Table 7 Analysis of Injury Interactions

Factor	Degree of freedom	Sum of squares	Mean square	F ratio
B×E	4	2236	559	2.50
B×F	4	755	189	0.84
B×G	4	772	193	0.86
E×F	4	3706	927	4.14
E×G	4	4433	1108	4.95
F×G	4	1189	297	1.33
(Error)	(7)	(1566)	(224)	

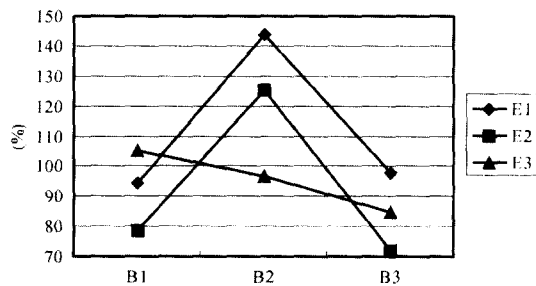


Fig. 5 B, E factor injury interaction

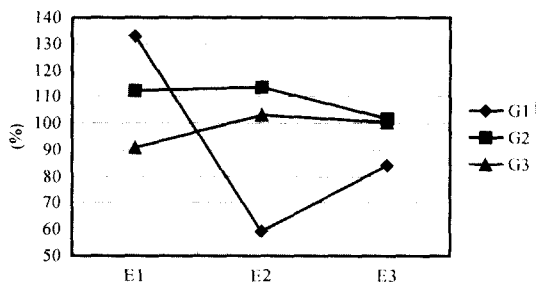


Fig. 6 E, G factor injury interaction

Fig. 5, Fig. 6과 같다.

Fig. 5에서 B인자와 E인자의 경우 E인자의 강성이 작거나 중간인 수준 1과 2의 경우는 B-필라 위치(B인자)변화에 따라 상해치의 변화가 심하며, 위치가 더미의 Hip-point에서 멀어질수록 좋은 결과를 보여준다. B-필라 위치가 더미 Hip-point 또는 앞쪽에 위치하는 경우 B-필라 강성 크게 하는 것이 좋으나 중량 증가량에 비하여 상해치 개선효과는 크지 않다.

Fig. 6은 B-필라 강성(E인자)과 Sill side 강성(G

인자)간의 상호 작용을 나타낸 것으로 B-필라의 강성에 비하여 Sill side 강성이 큰 경우(수준 2, 3)에는 B-필라 강성의 영향이 작고, 반대로 상대적으로 강성차이가 크지 않은 경우(수준 1)는 B-필라 강성의 변화에 민감하다. 그러므로 B-필라와 Sill side 강성을 정할 때는 두 부재의 강성을 같이 고려하는 것이 좋을 것이다.

#### 4. 해석 결과 분석

##### 4.1 상해치 반응표, 내부에너지, $T_{rib}$ 및 $V_{ave}$ 의 상관 관계 분석

인자에 따라 상해치가 변하는 것은 인자들의 변형에 의해 차체가 충돌에너지를 흡수하여 더미에게 전달하는 충격량이 변하기 때문이다. 더미에 작은 량의 에너지가 전달되려면 barrier의 운동에너지가 차체 변형에 의한 내부에너지로 변환되는 량, barrier의 차체 변형에 의한 내부에너지, 선정된 인자와 다른 부재로 에너지가 분산될 수 있도록 더미 Rib 변형이 발생하는 시간 및 더미와 접촉하는 부위의 차체속도가 영향을 줄 것으로 예상된다.

각 인자들의 변형에 의한 내부에너지 중 상해치에 영향이 큰 B-필라, 플로어 횡 부재, Sill side, 도어 보강 부재의 내부에너지 합( $S_1$ ),  $S_1$ 과 barrier의 내부에너지 합( $S_2$ )을 정리하면 Table 8과 같다. Table 8의 내부에너지  $S_1$ ,  $S_2$ 는 차체가 변형하여 더미와 접촉이 생겨서 Rib이 변형되기 시작하는 순간인  $T_{rib}$ 까지의 값이다.

Table 8에는 더미 Rib 변형이 발생하는 시간 ( $T_{rib}$ )과 차체의 변형에 의해 더미 Rib 변형이 발생한 후의 차체의 Rib 접촉점 부위의 평균속도 ( $V_{ave}$ )를 같이 정리하였다.  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  직교배열 표에 의하여 18번의 해석결과를 분석하면 VC는 Rib 변형이 시작된 후 대략 10 ms 전후에서 최대 값이 발생하므로,  $V_{ave}$ 는 Rib 변형 발생( $T_{rib}$ ) 후 10 ms 동안의 평균 속도를 이용한다.

내부에너지,  $T_{rib}$ ,  $V_{ave}$ 에 대한 인자별 특성을 비교하기 위해 반응표를 계산하면 Table 9, 10, 11,

Table 8 Results of  $S_1$ ,  $S_2$ , maximum time of VC,  $T_{rib}$  and  $V_{ave}$

Expt. No.	Internal energy sum( $S_1$ )	Internal energy sum( $S_2$ )	$T_{rib}$ (ms)	Maximum time of VC	$V_{ave}$ (m/s)
case1	5043	27942	34	42.0	5.06
case2	5153	35180	40	49.4	3.13
case3	4058	38236	42	54.4	4.27
case4	4417	38119	42	53.2	6.23
case5	4476	37918	46	56.0	6.11
case6	5035	30410	33	47.0	4.79
case7	5997	30116	34	50.6	4.70
case8	4900	39484	48	61.4	6.19
case9	6471	39552	52	54.6	5.88
case10	4924	33231	38	49.0	3.77
case11	4502	31442	35	41.8	4.55
case12	5907	34863	42	43.4	3.38
case13	3549	38700	45	55.8	6.34
case14	4150	24156	28	35.2	6.07
case15	4331	33444	37	51.0	5.68
case16	5787	34164	41	50.6	4.65
case17	5035	38930	46	56.6	6.21
case18	5472	31425	35	45.8	4.32
Ave.(T)	4956	34300	39.89	49.88	5.07

Table 9 Response table of  $S_1$

Factor	Level			Level max-min
	1	2	3	
A	97.88	102.12		4.24
B	100.50	112.70	86.80	25.91
C	100.06	105.11	94.83	10.28
D	99.78	97.25	102.97	5.72
E	98.44	97.45	104.11	5.67
F	100.89	97.14	101.97	4.83
G	92.94	97.52	109.54	16.60
H	101.98	97.44	100.58	4.54

12와 같다. 반응표의 값은 18 해석 결과의 평균값으로 각 경우의 값을 나누어 퍼센트로 표시한 것

Table 10 Response table of  $S_2$

Factor	Level			Level max-min
	1	2	3	
A	97.30	102.70		5.40
B	102.38	101.45	96.17	6.21
C	101.67	99.37	98.96	2.17
D	98.20	98.83	102.97	4.78
E	114.73	95.36	89.91	24.82
F	97.80	101.97	100.23	1.74
G	103.50	102.18	94.32	9.18
H	101.14	98.23	100.63	2.92

Table 11 Response table of  $T_{rib}$

Factor	Level			Level max-min
	1	2	3	
A	96.66	103.34		6.68
B	103.48	103.48	93.04	10.45
C	102.23	98.47	99.30	3.76
D	97.21	98.89	103.90	6.69
E	116.85	95.55	87.60	29.25
F	96.38	101.81	101.81	5.43
G	98.46	104.74	96.80	7.94
H	100.56	97.21	102.23	5.01

Table 12 Response table of  $V_{ave}$

Factor	Level			Level max-min
	1	2	3	
A	101.52	98.48		3.04
B	79.36	115.89	104.95	36.33
C	101.00	105.97	93.03	12.94
D	110.40	91.91	97.69	18.49
E	96.87	96.11	107.02	10.15
F	105.01	96.57	98.41	8.44
G	102.33	92.89	104.78	11.89
H	102.26	96.38	101.37	5.88

이며, 내부에너지와  $T_{rib}$ 은 망대 특성을 갖고 있으므로 망소 특성으로 치환하기 위하여 평균값에 대한 퍼센트를 200에서 뺀 값으로 계산하였다.

$S_1$ 의 반응표는 Rib 변형과 VC의 위치인자 특성을 잘 표현하며,  $S_2$  반응표는 Rib 변형과 VC의

강성인자 특성을 잘 나타낸다.

$T_{rib}$  반응표는 Rib 변형의 강성인자 특성을,  $V_{ave}$  반응표는 Rib 변형과 VC의 위치인자 특성을 잘 나타낸다. 또, Table 5의 상해치 반응표와 비교하면  $S_1$ 과  $V_{ave}$  반응표는 위치인자의 특성을 잘 표현하며,  $S_2$ 와  $T_{rib}$  반응표는 강성인자 특성을 잘 나타낸다.  $S_1$ 과  $V_{ave}$ 의 위치인자 반응표를 그래프로

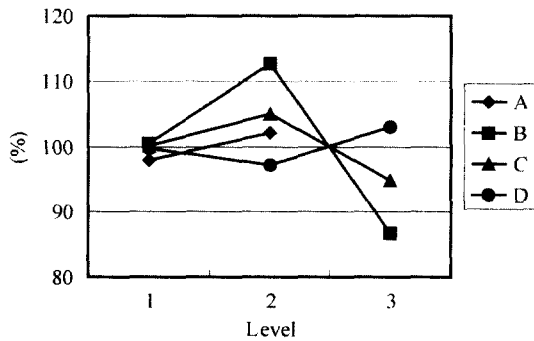


Fig. 7 Response of  $S_1$  for location factors

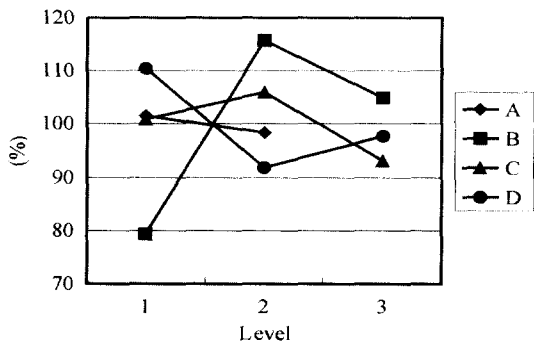


Fig. 8 Response of  $V_{ave}$  for location factors

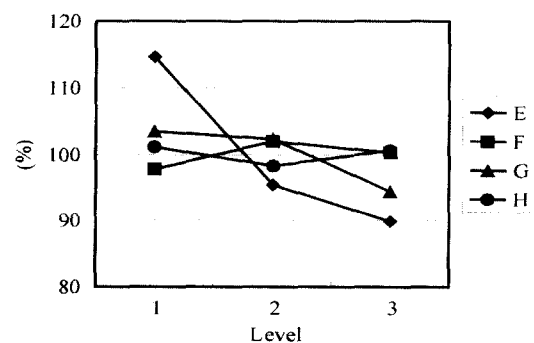


Fig. 9 Response of  $S_2$  for stiffness factors

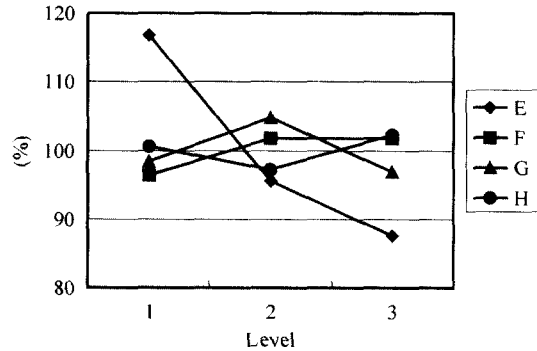


Fig. 10 Response of  $T_{rib}$  for stiffness factors

표현하면 Fig. 7, 8과 같고  $S_2$ 와  $T_{rib}$ 의 강성인자 반응표의 그림은 Fig. 9, 10과 같다.

#### 4.2 새로운 반응표 설정

상해치 반응표와 내부에너지,  $T_{rib}$  및  $V_{ave}$  사이의 상관관계를 분석한 결과, 내부에너지( $S_1$ ,  $S_2$ ),  $T_{rib}$  및  $V_{ave}$  반응표의 특성이 상해치 반응표의 위치인자와 강성인자의 특성을 모두 만족시키지는 못한다. 그러므로 4.1 절에 새로 구한 4가지 반응표를 이용하여 새로운 반응표를 도입한다.

위치인자와 강성인자의 특성을 표현할 수 있는 새로운 반응표 조합은  $S_1$ 과  $S_2$  반응표,  $S_1$ 과  $T_{rib}$  반응표,  $S_2$ 와  $V_{ave}$  반응표,  $T_{rib}$ 과  $V_{ave}$  반응표이다. 내부에너지를 이용한  $S_1$ - $S_2$  반응표(내부에너지, Internal energy response table)는 각각 위치인자와 강성인자의 특성을 같은 양만큼 반영하도록  $S_1$ 과  $S_2$ 의 각 인자별 수준의 값으로 평균을 구하여 사용하고, 이것을 정리하면 Table 13과 같다.  $S_1$ - $S_2$  반응표와 상해치 반응표 특성을 서로 비교하면 새로운  $S_1$ - $S_2$  반응표가 상해치 반응표의 특성을 잘 표현한다. Fig. 11은 민감도가 높은 B-필라 위치(B인자), B-필라 강성(E인자)을 비교한 것이고, 굵은 실선은 상해치 반응표를 가는 실선은  $S_1$ - $S_2$  반응표를 나타낸다. 이 반응표로부터 좋은 상해치 결과를 얻으려면 차체와 barrier가 흡수하는 내부에너지가 높게 부재의 위치와 강성을 조정하면 된다. 특히 민감도가 높은 B-필라의 위치는 더미의 Hip-point에서 뒤쪽으로, B-필라

Table 13 S<sub>1</sub>-S<sub>2</sub> response table

Factor	Level			Level max-min
	1	2	3	
A	97.59	102.41		4.82
B	101.44	107.07	91.48	15.59
C	100.87	102.24	96.90	5.34
D	98.99	98.04	102.97	4.93
E	106.58	96.41	97.01	10.18
F	99.35	99.55	101.10	1.75
G	98.22	99.85	101.93	3.71
H	101.56	97.83	100.61	3.73

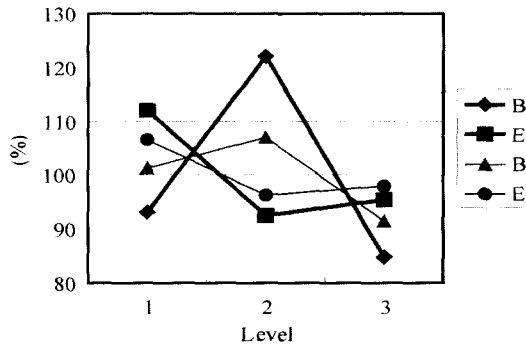


Fig. 11 Injury and internal energy response comparison for B and E factor

라의 강성은 barrier의 변형을 충분히 유도할 수 있도록 강성은 높게 하는 것이 좋다.

다른 새로운 세 가지 반응표 S<sub>1</sub>-T<sub>rib</sub> 반응표, S<sub>2</sub>-V<sub>ave</sub> 반응표 및 T<sub>rib</sub>-V<sub>ave</sub>(시간-속도, Time-Velocity

Table 14 S<sub>1</sub>-T<sub>rib</sub> response table

Factor	Level			Level max-min
	1	2	3	
A	97.27	102.73		5.46
B	101.99	108.09	89.92	18.18
C	101.14	101.79	97.07	4.72
D	98.50	98.07	103.43	5.37
E	107.65	96.49	95.86	11.79
F	98.64	99.47	101.89	3.25
G	95.71	101.12	103.17	7.46
H	101.27	97.33	101.40	4.08

response table) 반응표를 같은 방법으로 구하면 S<sub>1</sub>-S<sub>2</sub> 반응표와 같이 민감도가 높은 B-필라 위치(B인자)와 강성(E인자)에 대하여 같은 결과를 보여준다. 이들 반응표는 Table 14~16과 같다. 새로운 반응표와 상해치 반응표를 분산분석을 하여 F ratio만 따로 정리하면 Table 17과 같다.

Table 15 S<sub>2</sub>-V<sub>ave</sub> response table

Factor	Level			Level max-min
	1	2	3	
A	99.41	100.59		1.18
B	90.87	108.57	100.56	17.70
C	101.34	102.66	95.99	6.67
D	104.30	95.37	100.33	8.93
E	105.80	95.74	98.46	10.06
F	101.41	99.27	99.32	2.13
G	102.91	97.54	99.55	5.37
H	101.70	97.30	101.00	4.40

Table 16 T<sub>rib</sub>-V<sub>ave</sub> response table

Factor	Level			Level max-min
	1	2	3	
A	99.09	100.91		1.82
B	91.42	109.59	98.99	18.16
C	101.62	102.22	96.16	6.05
D	103.81	95.40	100.79	8.41
E	106.86	95.83	97.31	11.03
F	100.70	99.19	100.11	0.59
G	100.40	98.81	100.79	1.98
H	101.40	96.80	101.80	5.00

Table 17 Comparison of ANOVA results of new response table for B and E factor

Response table	F ratio	
	B	E
Injury	10.21	2.96
S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub>	8.07	4.22
S <sub>1</sub> +T <sub>rib</sub>	9.36	4.81
S <sub>2</sub> +V <sub>ave</sub>	7.12	2.45
V <sub>ave</sub> +T <sub>rib</sub>	7.61	3.28



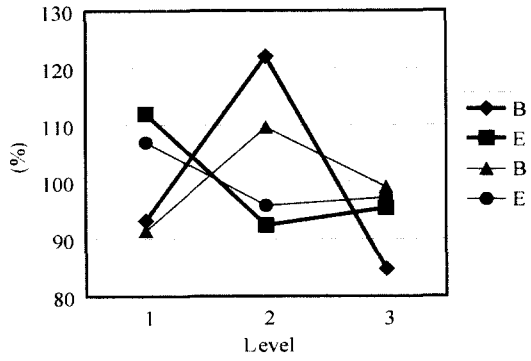


Fig. 12 Injury and time-velocity response comparison for B and E factor

내부에너지를 이용한 반응표는 유한요소 해석모델을 이용한 수치적 해석 방법에는 이용할 수 있지만 실제 측면 실험에서는 내부에너지를 측정할 수 없으므로 실험적 접근방법에도 사용할 수 있도록  $T_{rib}$ 과  $V_{ave}$ 의 반응표를 이용한  $T_{rib}$ - $V_{ave}$  반응표를 사용하는 것이 좋다. Fig. 12는  $T_{rib}$ - $V_{ave}$  반응표의 민감도가 높은 B인자와 E인자의 상해치 반응표와의 비교 결과이다.

### 4.3 해석 결과 그래프 비교

Table 4의 해석 결과 중에서 가장 좋은 경우인 case 12와 나쁜 경우인 case 14의 내부에너지,  $T_{rib}$ ,  $V_{ave}$ 를 비교하였다. case 12의 민감도가 높은 B, E, F, G인자의 조합은 B1, E2, F1, G1이고, case 14는 B2, E1, F2, G1이다. case 12의 인자조합이 최적조합에 매우 근접한 결과임을 알 수 있다.

Fig. 13은 내부에너지 합계  $S_1$ 을, Fig. 14는 내부에너지 합계  $S_2$ 를 비교하였다. Fig. 14에서 case 12와 case 14에서 내부에너지의 최대값은 비슷하지만 더미가 변형되는 시점인  $T_{rib}$ 까지 내부에너지  $S_2$  값은 case 14가 24,156J로 case 12의 34,863J보다 작다. 이것은 case 14의 인자들의 위치와 강성이 약조건이어서 더미의 변형이 일찍 시작되기 때문이다.

Fig. 15은  $V_{ave}$ 을 비교하기 위해, 더미 Rib과 접촉이 일어나는 도어의 안쪽부분의 속도를 그림으로 그린 것이다. 최적조합에 가까운 case 12는

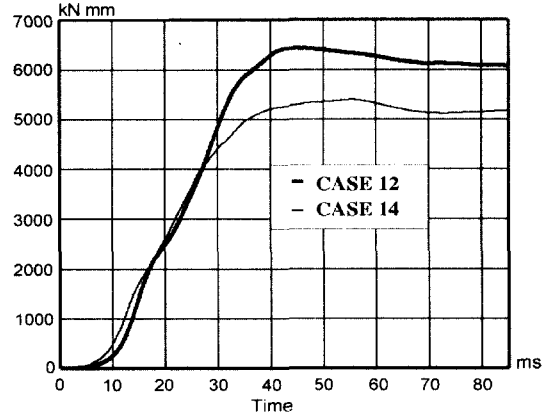


Fig. 13  $S_1$  Internal energy comparison for case 12 and case 14

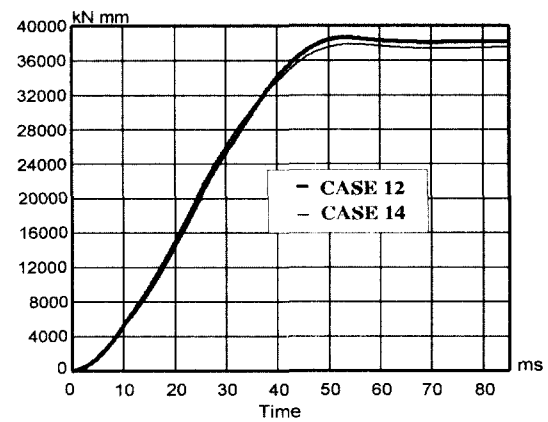


Fig. 14  $S_2$  Internal energy comparison for case 12 and case 14

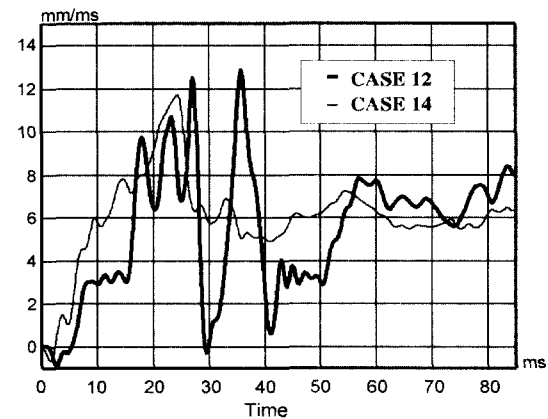


Fig. 15 Dummy Rib contact point velocity comparison for case 12 and case 14

42ms부터 Rib 변형이 시작되어 VC가 최대가 되는 10ms 동안의 평균속도  $V_{ave}$ 가 3.38m/s이고, 약 조건인 case 14는  $V_{ave}$ 가 6.07m/s이다.

### 5. 결론

전기자동차의 유럽 측면 충돌 특성에 대한 기초 연구로 실험계획법의 일부실험시법을 이용하여 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 목표값으로 Rib 변형과 VC를 함께 고려하여 분석한 결과(상해치 반응표)를 Rib 변형과 VC를 별도로 계산한 결과와 비교하면 인자별 민감도, 상호관계 및 최적조합이 일치하는 결과를 보여준다. 즉 Rib 변형과 VC 각각의 목표값의 평균값으로 Rib 변형과 VC를 동시에 최소화할 수 있는 조합을 얻을 수 있다.

2) 상해치 반응표를 분석한 결과, 위치 인자 중에서는 B-필라 위치 대한 민감도가 크고, 강성 인자는 B-필라 강성에 대한 민감도가 가장 크며, 플로어 보강 횡 부재 강성 및 Sill side 강성도 충돌 성능에 대한 민감도가 크다.

3) 민감도가 높은 인자간의 상호작용을 분석한 결과 B인자와 E인자, E인자와 F인자, E인자와 G인자의 상호작용이 크다. 상호작용이 큰 인자들의 위치나 강성을 정할 때는 강성간의 상호작용을 고려하여야 한다.

4) B-필라, 플로어 횡 부재, Sill side, 도어 보강 부재와 barrier의 내부에너지( $S_1, S_2$ ),  $T_{rib}$  및  $V_{ave}$ 에 대하여 분석한 결과  $S_1$ 과  $V_{ave}$ 는 상해치 반응표의 위치인자를 잘 표현하며,  $S_2$ 와  $T_{rib}$ 는 강성인자의 특성을 잘 나타낸다.

5)  $S_1, S_2, T_{rib}, V_{ave}$  반응표의 특성을 이용한  $S_1$ 과  $S_2$  반응표,  $S_1$ 과  $T_{rib}$  반응표,  $S_2$ 와  $V_{ave}$  반응표,  $T_{rib}$ 과  $V_{ave}$  반응표의 조합은 민감도가 높은 인자의 상해치 특성을 잘 반영한다. 상해치의 특성을 해석 또는 실험 결과와 비교하여 최적화 할 경우는

$T_{rib}$ 과  $V_{ave}$ 의를 이용한  $T_{rib}-V_{ave}$ (시간-속도) 반응표를 이용하는 것이 좋다.

6) 상해치를 최소화하기 위한 주요 부재의 위치와 강성의 조합은 내부에너지는 크게,  $T_{rib}$ 은 낮게,  $V_{ave}$ 는 낮게 하는 조합이 좋다.

### 후 기

이 논문은 2000년도 차세대 자동차 기술 개발 사업의 연구과제 중 “전기자동차 충돌 성능 향상 및 최적화 기술 개발”과제에 대한 연구비 지원과 2000년도 두뇌한국21사업 의하여 지원되어 서울대학교 정밀기계설계공동연구소에서 수행된 것입니다. 자동차 부품 연구원, 고등기술연구원, 두뇌한국21사업단 및 서울대 정밀기계설계공동연구소 관계자 여러분께 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- 1) 조용범, 고정환, 신호철, 변준형, “전기자동차의 유럽 측면 충돌 특성 기초 연구(I),” 자동차 공학회논문집, 제8권 제5호, pp.173-180, 2000.
- 2) ECE, “Draft Regulation-Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicle with Regard to the Protection of the Occupant in the Event of a Lateral Collision,” TRANS/SC.1/WP.29/R.640, 1993.
- 3) 김동석, 이명식, “측면 충돌 법규화 동향과 해석기술,” 자동차공학회지, Vol.18, No.4, pp.27-35, 1996.
- 4) J. A. C. Ambrosio, M. F. O. S. Pereira, F. P. da Silva, “Crashworthiness of Transportation Systems: Structural Impact and Occupant Protection,” Kluwer Academic Publishers, pp.189-205, 1997.
- 5) 박성현, 다구찌 방법과 통계적 공정관리를 중심으로 한 품질공학, 민영사, 1993.
- 6) 박동규, 최신 실험계획법, 기전연구사, 1999.
- 7) M. S. Phadke, Quality Engineering Using Robust Design, Prentice Hall, 1989.